

基于多尺度 Gabor 滤波器的彩色图像边缘检测

周静雷 张智

(西安工程大学 电子信息学院 西安 710048)

摘要: 为了更好地实现彩色图像边缘提取,并保证算法具有更好的稳定性,文章使用多尺度 Gabor 滤波器的方法,来提取彩色图像边缘和轮廓。构建了3个尺度、16个方向的 Gabor 滤波器。首先将彩色图像灰度化,利用多尺度 Gabor 虚部滤波器提取图像灰度变化信息。通过非极大值抑制,并通过高低阈值获取边缘像素点及其候选边缘,最后利用局部边缘连接获取图像边缘轮廓。并将本算法与常用边缘检测算法进行实验性能比较,实验结果表明:提出的算法既能获得较高的定位准确度,又具有很好的噪声鲁棒性,该算法与常用的 Roberts 等一系列算法相比,检测效果更好,稳定性更强。

关键词: 彩色图像;边缘检测;多尺度 Gabor 滤波器

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Color image edge detection based on multi-scale Gabor filter

Zhou Jinglei Zhang Zhi

(School of Electronic and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to realize the edge extraction of color images, and to ensure that the algorithm has better stability. The article used the multi-scale Gabor filter method to extract the edge of the color image and contour, the Gabor filter has three scales and sixteen directions. The first, changes the color image into the gray image, the imaginary part of multi-scale Gabor filter is utilized to obtain the change information of gray image. The second, Through the non-maxima suppression, and then through the high and low threshold to extract the edge pixels and its candidate edge pixels. The last, through the local edge connection to obtain edge contour line. And the performance of this algorithm is compared with the commonly used edge detection algorithm. This experimental conclusion states: this algorithm can obtain high positioning accuracy, and also has good noise robustness. Compared with a series of algorithms, such as Roberts, this method has better detection effect and better stability.

Keywords: color image; edge detection; multi-scale Gabor filter

1 引言

图像是人类获取信息的主要来源,统计得知,人类接收的信息中大约有 75% 源自图像。边缘检测技术的应用和发展已有很长一段时间。从最早提出边缘检测相关技术,到研究者开始系统研究如何检测图像中的边缘,在这一过程中,提出了许多的边缘检测算子^[1-4]。而后图像边缘检测引起研究者越来越多的兴趣,并逐渐成为热点问题。边缘检测的算法有很多,常用的是基于微分的边缘检测,随着各种技术和新理论的提出,出现了许多新兴的边缘检测算法^[5-8]。采用多尺度小波方法的边缘检测是在不同尺度的情况下提取出一定的图像边缘信息。多尺度算法的优点主要在于,在较小的尺度下,图型边缘的微小细节能够检测

到,且边缘定位性好,却比较容易受到噪声的干扰;在较大的尺度下,噪声鲁棒性较好,对噪声抑制的同时也会丢失一些细小的轮廓。为了解决边缘的准确性和噪声鲁棒性之间的矛盾。小波变换因其具有很强的多分辨率分析能力,时域和频域上的分辨率可以相互转换是其最突出的特点。因此,小波变换被广泛的用于图像边缘检测中。它将各种尺度下的图像信息进行融合,使得检测效果有了很好的提升。

本文提出的算法利用多尺度 Gabor 滤波器,实现对彩色图像的边缘检测^[9-10]。这种检测算法与单一尺度下的 Gabor 滤波器相比,有了一些改进,有更好的检测性能。首先通过加权平均法实现对彩色图像的灰度化,对所得到的灰度图像进行边缘检测。它的主要算法过程是通过滤波器先对图像进行变换,得出不同尺度、不同方向下的图像信

息,再进行非极大值抑制,然后通过图像融合得到该尺度下的边缘图像。最后利用自适应高、低阈值的方法得到最终的图像边缘信息。

2 多尺度 Gabor 滤波器

空域中,二维 Gabor 滤波器的形式为,

$$\begin{aligned} \psi(x,y;f,\theta) &= \\ \frac{f^2}{\pi\gamma\eta} \exp\left(-\left(\frac{f^2}{\gamma^2}x'^2 + \frac{f^2}{\eta^2}y'^2\right)\right) \exp(j2\pi fx') & \quad (1) \\ x' &= x\cos\theta + y\sin\theta \\ y' &= -x\sin\theta + y\cos\theta \end{aligned}$$

式中: $\sigma_x = \gamma/f$ 、 $\sigma_y = \eta/f$ 依次为主轴方向上的高斯尺度、主轴方向正交的高斯尺度, f 是滤波器的中心频率; θ 是调制平面波以及高斯主轴旋转的角度,它沿着逆时针方向, γ 和 η 是常数。Gabor 滤波器它的虚部适合用来提取图像边缘的信息,性能对噪声有较好的鲁棒性。式(1)显示,低中心频率 f 对应大尺度的 Gabor 滤波器,具有较好的噪声抑制能力;而高中心频率对应小尺度的 Gabor 滤波器,具有较准确的边缘定位性。因此,提出的算法利用多个尺度的 Gabor 虚部 $\varphi(x,y;f,\theta,s)$ 来对图像进行平滑,提取其边缘特征。Gabor 滤波器虚部 $\varphi(x,y;f,\theta,s)$ 和平滑后的图像表示为,

$$\begin{aligned} \varphi(x,y;f,\theta) &= \text{Im}(\psi(x,y;f,\theta)) \\ I_{\text{smooth}}(x,y;f,\theta) &= I(x,y) \otimes \varphi(x,y;f,\theta) = \\ \iint_{-\infty}^{\infty} I(x_\tau,y_\tau) * \varphi(x-x_\tau,y-y_\tau;f,\theta) dx_\tau dy_\tau & \quad (2) \end{aligned}$$

图 1 表示多尺度 Gabor 滤波器的虚部特征,其中白色区域表示大于零,黑色区域表示小于零,而灰色区域表示等于零。

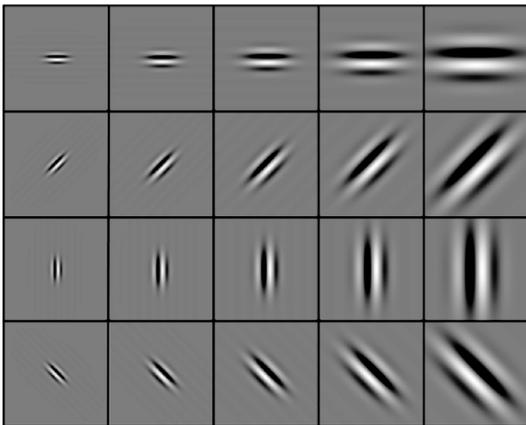


图 1 多尺度多方向 Gabor 虚部

不同的中心频率对应不同的尺度,可以提取各个尺度上的图像特征。通过对方向 θ 在 $[0,\pi]$ 均匀采样,并取不同的中心频率 f ,可以获得一组离散化的多尺度 Gabor 虚部滤波器。

$$\begin{aligned} \varphi(m,n;s,k) &= \\ \frac{f_s^2}{\pi\gamma\eta} \exp\left(-\left(\frac{f_s^2}{\gamma^2}m'^2 + \frac{f_s^2}{\eta^2}n'^2\right)\right) \sin(2\pi f_s m') & \\ m' &= m\cos\theta_k + n\sin\theta_k \\ n' &= -m\sin\theta_k + n\cos\theta_k \\ \theta_k &= \frac{\pi k}{K}, k = 0, 1, \dots, K-1. & \quad (3) \end{aligned}$$

式中: K 表示采样的方向个数, θ_k 表示第 k 个方向的角度, f_s 则代表第 s 个尺度的中心频率。

对于离散图像 $I(m,n)$,其关于尺度 s 、方向 k 的离散 Gabor 滤波器的幅度响应可以通过卷积获得,如式(4)。这组 $\zeta(m,n;s,k)$ 能够充分反映出在不同尺度、不同方向下灰度变化的信息。

$$\begin{aligned} \zeta(m,n;s,k) &= I(m,n) \otimes \varphi(m,n;s,k) = \\ \sum_{m_s} \sum_{n_s} I(m-m_s,n-n_s) \varphi(m,n;s,k) & \quad (4) \end{aligned}$$

3 多尺度 Gabor 边缘检测算法

本文中 Gabor 多尺度滤波器^[11-12]的检测算法有以下几个优点:第一,它的计算复杂度较低;第二,采用高斯平滑容易引起边缘模糊,会导致边缘像素点定位的准确性。因此,直接利用边缘像素处的局部多尺度特征进行边缘检测,避免了平滑轮廓导致的定位准确度下降。

由于图像的边缘最大响应分布在不同尺度上,用单一尺度的 Gabor 滤波器进行边缘检测,检测结果不够完善。而且对于不同图像,合适的滤波器尺度很难选择。为此,本文算法将不同尺度下图像的 Gabor 响应进行融合,既利用更多的特征信息提高了检测准确度,又避免了单一尺度很难选择的问题。

基于彩色图像的边缘检测,首先将彩色图像转化为灰度图,再对图像进行扩展。建立多尺度 Gabor 滤波器,提取 Gabor 的虚部,与图像进行三次卷积(这里选择在 3 个尺度下)。获得图像在 16 个方向下、不同尺度下灰度的变化信息。提取每个方向上的梯度幅值,然后在每个像素点上找到该点的最大灰度变化方向及其幅值。

对梯度幅值进行非极大值抑制。在图像梯度幅值矩阵中,较大值的元素点代表该点的梯度值较大,但不能因此确定该点就是边缘,因为它只是属于图像增强一个过程。所以,先找到并确定像素的点的局部极大值,然后把非极大值的点的灰度值设置为零,这样就可以排除掉一部分点,它们不是边缘点。遍历幅值响应矩阵,从第一个像素点开始,如果该点的幅值大于其最大方向的垂直方向的最近两像素的幅值,则令该点为边缘像素点,否则不是边缘像素点,以此类推。然后对此边缘点集做归一化处理。再对其进行直方图处理,得到累积直方图。

通过高低阈值提取边缘像素点及其候选边缘像素点^[13]。以 64 作为强边缘的阈值,将强边缘阈值乘以比例系数 Ratio 作为弱边缘阈值。确定强边缘中幅值为 1 的点

的位置,将这些点及其八邻域的点显示出来,并在三个尺度下相或,得到多尺度下的粗边缘轮廓。再做进一步处理。

通过局部边缘连接填补边缘空隙。抽取边缘,默认空隙间隔为 1,找出粗边缘轮廓为 1 的像素点的位置,在该点八邻域内确定像素为 1 的点,若为 1 即认定为边缘点。接下来找到边缘线长度大于图像 $\{(长+宽)/25\}$ 的线段,存储下来。建立相应的边缘线矩阵,计算该线段首尾之间欧氏距离的平方,如果长度小于 25,继续循环,否则将首尾连接。这样就将断裂的边缘连接起来。算法步骤如图 2 所示。

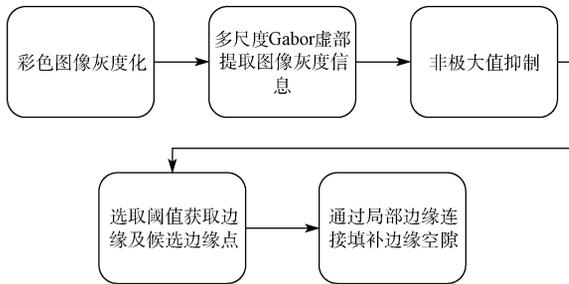


图 2 算法步骤流程图

4 实验结果与性能分析

为了验证提出算法的有效性,将本算法同 Roberts 算法, Sobel 算法, Prewitt 检测算法, LOG 算法, 以及经典的 Canny 算法进行实验比较。为了统一边缘标准,提取图像边缘均采用 Canny 边缘检测器其高低门限设置为 0.35 和 0.2。本算法 Gabor 滤波器的参数设置为 $f = 0.2$, $gama = 2$, $eta = 4$, 阈值 $T_h = 0.7$, 非极大值抑制窗口 3×3 , 其他算法均采用文献中所设置的参数进行检测。图 3 为“积木”图像的边缘检测效果图,图 4 为使用不同的检测器对“积木”图像边缘检测的结果。

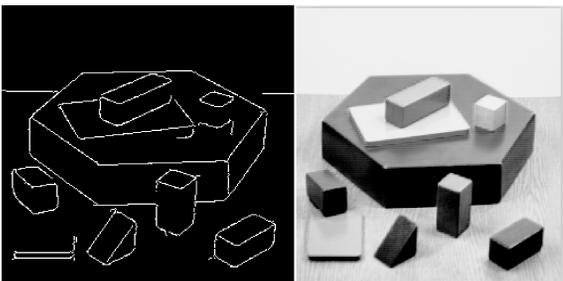


图 3 “积木”图像边缘检测效果图

通过与其他几种算法的比较,本算法对图像的边缘检测对噪声具有更好的鲁棒性,边缘的断裂点更少,对边缘的检测更加准确。Roberts 算法以及 Sobel 算法边缘断裂点较多,有一些灰度变化不太明显的边缘没有检测到,LOG 算法对抑制噪声的效果不是很好,受噪声干扰较大,而

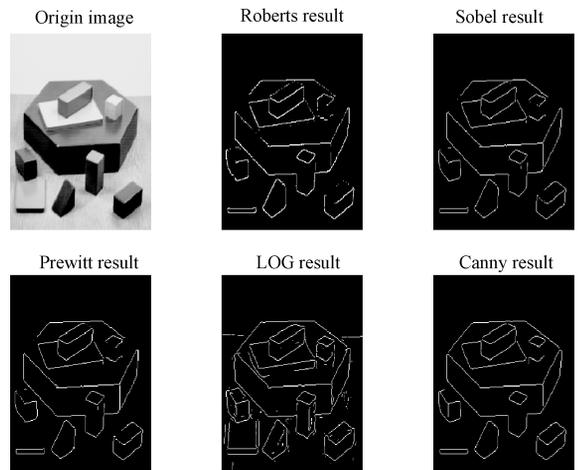


图 4 使用不同检测器对“积木”图像边缘检测结果

Canny 算法对一些灰度变化较小的边缘没有检测到。综上所述,本算法的检测性能更佳。

5 结 论

本文提出在多尺度 Gabor 滤波器彩色图像边缘检测提取图像边缘,采用多尺度 Gabor 滤波器虚部提取图像边缘信息,采用非极大值抑制,并通过局部边缘连接填补边缘空隙。在对多幅图像检测的实验结果表明,相对于经典的几种检测算法,本文算法在对边缘检测定位准确性和抑制噪声等方面具有更好的检测效果。

参考文献

- [1] 段瑞玲,李庆祥,李玉和. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术, 2005(03): 415-419.
- [2] 段义慧. 一种改进的 Canny 边缘检测算法[J]. 广西物理, 2009(04): 43-47.
- [3] 王植,贺赛先. 一种基于 Canny 理论的自适应边缘检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2004(08): 26-31.
- [4] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986 (6): 679-698.
- [5] 王爽,潘静. 一种基于颜色与纹理特征的图像模糊检索算法[J]. 电子测量技术, 2014(02): 54-57.
- [6] 刘松松,张辉,毛征,等. 基于 HRM 特征提取和 SVM 的目标检测方法[J]. 国外电子测量技术, 2014(10): 38-41.
- [7] 李高西,曹军,张福元. 基于视觉灵敏度及粗集的彩色图像滤波算法[J]. 2014(02): 211-217.
- [8] 师文,朱学芳,朱光. 基于形态学的 MRI 图像自适应边缘检测算法[J]. 2013(02): 217-221.
- [9] SMITH S M, BRAND J M, SUSAN. A new approach to low level image processing [J]. International of Computer Vision, 1997, 23 (1):

- 45-78.
- [10] MONTESINOS P, GOUET V, DERICHE R. Differential invariants for color images [C]// Fourteenth International Conference on Pattern Recognition, 1998. Proceedings. IEEE, 1998(1): 838-840.
- [11] LEE T S. Image representation using 2D Gabor wavelets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(10): 959-971.
- [12] KAMARAINEN J K, KYRKI V, K LVI INEN H.

Invariance properties of Gabor filter-based features-overview and applications[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(5): 1088-1099.

作者简介

周静雷, 1978 年出生, 博士, 副教授, 主要研究方向为电声学、声频测量。

张智(通信作者), 1988 年出生, 硕士研究生, 研究方向信号信息处理。

E-mail: 303339092@qq.com

(上接第 44 页)

- [3] 韩江洪, 刘磊, 卫星. 信号场强压缩感知的传感器定位方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2014(6): 1201-1208.
- [4] 侯宝娥, 陈高杰. 实船爆炸试验实施时间窗口确定方法研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(3): 39-42.
- [5] 马锦垠, 梁斌. 传感器标定数据处理方法对爆炸压力测量误差的影响[J]. 电子测量技术, 2012(6): 16-21.
- [6] 张玮. 利用浮动冲击平台考核舰用设备抗冲击能力的数值仿真研究[J]. 振动与冲击, 2010, 29(12): 60-63.
- [7] 王军, 姚熊亮, 郭君. 中型浮动冲击平台结构设计研究[J]. 振动与冲击, 2014(7): 123-129.
- [8] 陈建军, 张姝红, 毛秋丹, 等. 小型浮动冲击平台水下爆炸冲击响应特性分析[J]. 噪声与振动控制, 2012(6): 30-33.
- [9] 张永坤, 周学滨, 李琛. 水下非接触爆炸作用下浮动冲击平台运动响应试验研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2013, 37(5): 1007-1011.

[10] 李琛, 张姝红, 周学滨, 等. 水下非接触爆炸抗冲击缓冲平台性能研究[J]. 爆破, 2011, 28(3): 86-89.

[11] 王军, 姚熊亮, 杨棣. 浮动冲击平台冲击环境对设备响应的影响[J]. 爆炸与冲击, 2015(2): 54-60.

作者简介

陈高杰(通讯作者), 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为水下爆炸试验测量与仿真等。

E-mail: jordgeham@163.com

周庆飞, 大学本科, 工程师, 主要研究方向为水中兵器试验测量。

E-mail: zqf_1982@163.com

王树乐, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为水下爆炸仿真与评估。

E-mail: 29152794@qq.com

程素秋, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向为水下爆炸仿真与评估。

E-mail: csq4028@sina.com

(上接第 48 页)

- [10] 廖东平, 魏二章. 一种改进的渐进直式支持向量机分类学习算法[J]. 信号处理, 2009, 24(002): 213-218.
- [11] 吴庆林, 乔兵, 张斌, 等. 基于 Stewart 平台的次镜控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(11): 79-82.
- [12] 骆亚波, 郑勇, 夏治国, 等. 大射电望远镜馈源系统

50m 模型外界激励响应的检测及分析[J]. 仪器仪表学报, 2007(s1): 374-378.

作者简介

高桂荣, 硕士研究生, 主要研究方向遥感图像的变化检测。

E-mail: 878310779@qq.com